

диционному расчету потокораспределения в сочетании с дополнительной процедурой вычисления КМ параметров режима; 3) показано, что, опираясь на специфику моделей потокораспределения, можно получить компактные аналитические выражения для этих КМ, что обеспечивает высокую вычислительную эффективность предложенного подхода по сравнению с традиционными методами имитационного моделирования; 4) показано, что необходим учет корреляций параметров режима, при расчете вероятностных параметров функционирования ТПС, с разработкой методики их вычисления, для их более точной и корректной интерпретации.

- 1.Абрамов Н.Н. Надежность систем водоснабжения. – М.: Стройиздат, 1979. – 231 с.
- 2.Шопенский Л.А. Исследования режимов работы водопроводов жилых зданий: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 1968. – 22 с.
- 3.СНиП 2.04.01-85*. Внутренний водопровод и канализация зданий. – М.: ЦИТП Госстрой России, 2004. – 58 с.
- 4.Новицкий Н.Н., Вантеева О.В. Задачи и методы вероятностного моделирования гидравлических режимов трубопроводных систем // Научно-технические ведомости СПбГТУ. – 2008. – №1. – С.68-75.
- 5.Новицкий Н.Н., Вантеева О.В. Моделирование стохастики потокораспределения в гидравлических цепях // Известия РАН. Энергетика. – 2011. – №2. – С.145-154.

Получено 02.11.2011

УДК 628.153 : 628.17

Н.В.ФЕДОРОВ, А.М.ХРЕНОВ, кандидаты техн. наук
Харьковская национальная академия городского хозяйства

РАСЧЕТ ОДНОГО КЛАССА СЕТЕЙ С ПЕРЕТОКАМИ

Рассматривается алгоритм решения задачи отдельного моделирования взаимосвязанных частей водопроводной сети и последующей стыковки полученных моделей.

Розглядається алгоритм рішення задачі окремого моделювання взаємозалежних частин водогінної мережі, й наступного стикування отриманих моделей.

The algorithm of the solution of a problem of separate simulation of interdependent parts of a water network(grid), and subsequent docking of the obtained models is esteemed.

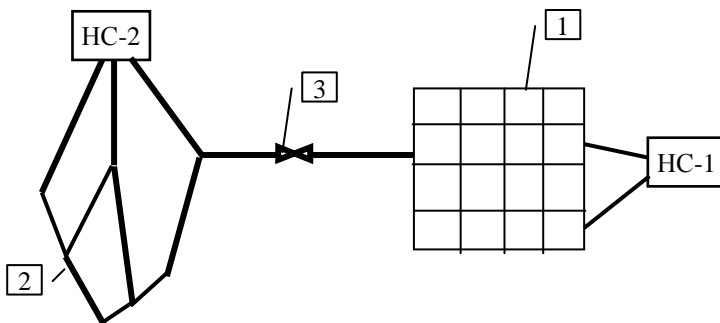
Ключевые слова: система, структура, иерархия, модель, алгоритм, уравнение, функция, водоснабжение, потокораспределение, сеть, давление, гидравлика, насос, управление, ограничение, минимум, эффективность.

Системы водоснабжения имеют иерархическую структуру. Первый уровень (самый высокий) образуют сети магистральных водоводов (диаметры труб 600 мм и выше). Следующий уровень образуют межквартальные сети, состоящие из труб диаметром 300-400 мм, и на самом низком уровне сети с трубами диаметром 200 мм и меньше.

При разработке математической модели системы водоснабжения

целесообразно вначале строить модель сети самого высокого уровня, а затем можно к ней подключать модели более низких уровней, по мере их готовности. Такой подход позволяет использовать результаты моделирования, не дожидаясь завершения построения всей модели в целом. Кроме того, моделирование различных частей сети можно проводить с различной степенью подробности. В связи с этим возникают задачи отдельного моделирования взаимосвязанных частей сети и последующей стыковки полученных моделей [1-3].

Рассмотрим пример сети, приведенный на рисунке.



Пример сети, состоящей из двух частей с перетоком между ними:
 НС-1 и НС-2 – насосные станции; 1– часть сети, для которой построена подробная модель;
 2 – часть сети, при построении модели которой использовались только магистральные водоводы; 3 – регулируемая задвижка (в этом месте также установлен датчик давления).

Рассмотрим задачу моделирования потокораспределения для сети, обозначенной на рисунке цифрой 1. Исходными данными являются: структура сети, параметры труб (длина, диаметр, материал), геодезические отметки начала и конца каждого участка, давление и расход воды на выходе насосной станции (НС-2), а также давление в месте установки регулируемой задвижки. В результате решения поставленной задачи мы должны получить давление во всех узлах сети и расходы воды по всем участкам, в том числе и по участку, соединяющему сети 1 и 3.

Обозначим: P_1^*, Q_1^* – давление и расход воды на выходе насосной станции НС 1 (звездочкой будем отмечать измеренные величины); P_0^* – давление в месте установки регулируемой задвижки; Q_{01} – расход воды по трубе, соединяющей сети 1 и 2 (если направление потока из сети 1 в сеть 2, то $Q_{01} > 0$, в противном случае $Q_{01} < 0$); Q_{s1} – суммарный расход потребителей сети 1.

Очевидно, должно выполняться условие

$$Q_{s1} + Q_{01} = Q_1^* . \quad (1)$$

Значения Q_{s1} и Q_{01} нам не известны.

Для того, чтобы провести гидравлический расчет сети 1, необходимо задать величины P_1^*, P_0^* , а также расходы у всех потребителей. Будем считать, что для каждого потребителя нам известна его доля в общем объеме потребления Q_{s1} . Таким образом, задав величину Q_{s1} как некоторое текущее значение суммарного потребления сети 1, можно определить вектор расходов у всех потребителей. Величина Q_{01} получается в результате гидравлического расчета и ее значение зависит от выбранного значения Q_{s1} . Величину Q_{01} можно рассматривать как неявную функцию величины Q_{s1} : $Q_{01} = f(Q_{s1})$. Следовательно, неизвестное значение Q_{s1} можно найти в результате решения уравнения

$$Q_{s1} + f(Q_{s1}) = Q_1^* . \quad (2)$$

Это уравнение решается численным методом. Q_s ищется в диапазоне значений $[Q_1^* - \Delta Q, Q_1^* + \Delta Q]$. На каждом шаге итерационного процесса проводится гидравлический расчет сети 1. Аналогично можно провести моделирование сети 2.

Теперь рассмотрим вопрос согласования результатов отдельного моделирования сетей 1 и 2. Обозначим: P_2^*, Q_2^* – давление и расход воды на выходе насосной станции НС 2; Q_{02} – расход воды по трубе, соединяющей сети 1 и 2, полученный в результате гидравлического расчета сети 2; Q_{s2} – суммарный расход потребителей сети 2. При выбранном значении Q_{s1} , величина Q_{s2} определяется из соотношения

$$Q_{s2} = Q_1^* + Q_2^* - Q_{s1} . \quad (3)$$

Q_{02} – это неявная функция Q_{s2} , а так как значение Q_{s2} определяется значением Q_{s1} , то можно записать, что $Q_{02} = f_2(Q_{s1})$.

Рассмотрим функцию

$$\Phi_1(Q_{s1}) = \left(\frac{Q_1 - Q_1^*}{Q_1^*} \right)^2 + \left(\frac{Q_2 - Q_2^*}{Q_2^*} \right)^2 + \left(\frac{|Q_{01}| - |Q_{02}|}{(|Q_{01}| + |Q_{02}|)/2} \right)^2 . \quad (4)$$

Q_1 и Q_2 – это расчетные расходы на насосных станциях, которые также зависят от заданного значения Q_{s1} и поэтому можно считать, что $Q_1 = \psi_1(Q_{s1})$ и $Q_2 = \psi_2(Q_{s1})$.

Функция $\phi_1(Q_{s1})$ характеризует степень различия между расчетными и измеренными значениями расходов на насосных станциях и степень различия между расходами по трубе, соединяющей сети 1 и 2, полученными в результате отдельного расчета этих сетей. Функция $\phi_1(Q_{s1})$ – это функция одной переменной, ее минимум может быть найден численным методом в некотором диапазоне значений $[Q_1^* - \Delta Q, Q_1^* + \Delta Q]$. На каждом шаге итерации необходимо решать задачи гидравлического расчета сетей 1 и 2.

Если расчет сети проводить, не разделяя ее на отдельные части, то поставленную задачу моделирования потокораспределения можно решить, выбрав в качестве функции цели следующую функцию

$$\phi_2(Q_{s1}) = \left(\frac{Q_1 - Q_1^*}{Q_1^*} \right)^2 + \left(\frac{Q_2 - Q_2^*}{Q_2^*} \right)^2 + \left(\frac{P_0 - P_0^*}{P_0^*} \right)^2, \quad (5)$$

где P_0 – расчетное давление в точке установки датчика. Эта величина также является зависимой от значения Q_{s1} : $P_0 = \psi_0(Q_{s1})$.

Процесс решения предусматривает на каждом шаге итерации для текущего значения Q_{s1} расчет всей сети.

Рассмотрим ситуацию, когда установить датчик давления на трубе, соединяющей сеть 1 и сеть 2, нет возможности. Задав некоторое значение Q_{s1} и определив по формуле (3) значение Q_{s2} , находим вектор расходов потребителей для сетей 1 и 2. Проводим гидравлический расчет объединенной сети и находим расчетные значения расходов на выходах насосных станций Q_1 и Q_2 . Эти значения, как уже отмечалось, можно считать функциями переменной Q_{s1} . Необходимо определить такое значение Q_{s1} , при котором $Q_1 = Q_1^*$, т.е. Q_{s1} должно быть решением уравнения

$$\psi_1(Q_{s1}) = Q_1^*. \quad (6)$$

Тогда равенство $\psi_2(Q_{s1}) = Q_2^*$ будет выполнено автоматически, так как

$$\psi_1(Q_{s1}) + \psi_2(Q_{s1}) = Q_1^* + Q_2^* . \quad (7)$$

Решение задачи (6) ищется в диапазоне значений $[Q_1^* - \Delta Q, Q_1^* + \Delta Q]$ численным методом и на каждом шаге итерации необходимо выполнять гидравлический расчет всей сети.

Алгоритмы решения всех рассмотренных задач имеют однотипную структуру и обязательным элементом каждого из них является процедура гидравлического расчета системы водоснабжения. Выбор того или иного алгоритма зависит от объема информации о сети и возможности использования измерительных приборов.

Приведенные в статье задачи и алгоритмы их решения были использованы при построении моделей функционирования систем водоснабжения жилищного массива «Троещина» (подробная модель) и правобережной части г.Киева (укрупненная модель). Применение этих моделей показало их высокую эффективность при управлении водопроводными сетями.

- 1.Лямець В.И., Тевяшев А.Д. Системный анализ. – Харьков: ХНУРЭ, 2004. – 448 с.
- 2.Прозоров И.В., Николадзе Г.И., Минаев А.В. Гидравлика, водоснабжение и канализация. – М.: Высш. шк., 1990. – 448 с.
- 3.Демин В.И. Эффективность и надежность проектируемых систем водоснабжения. – Новосибирск, 2002. – 298 с.

Получено 07.11.2011

УДК 628.218

Р.В.ЧУПИН, Е.С.МЕЛЕХОВ, кандидаты техн. наук

Национальный исследовательский Иркутский государственный технический университет (Российская Федерация)

РАЗВИТИЕ МЕТОДИЧЕСКИХ ОСНОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

Рассмотрены вопросы математического моделирования и оптимизации развивающихся систем водоснабжения и водоотведения, предложены новые подходы и методы к решению задач анализа режимов функционирования, обоснования структуры и параметров трубопроводов и трубопроводных сооружений с учетом существующего состояния, надежности и сейсмостойкости, режимной управляемости и динамики развития.

Розглянуто питання математичного моделювання та оптимізації розвитку систем водопостачання і водовідведення, запропоновано нові підходи і методи до вирішення завдань аналізу режимів функціонування, обґрунтування структури і параметрів трубопроводів і трубопровідних споруд з урахуванням існуючого стану, надійності та сейсмостійкості, режимної керованості і динаміки розвитку.

The questions of mathematical modeling and optimization of developing water and collections systems are proposed new approaches and methods of problems solution concerning analy-